

AUS DEM PHYSIOLOGISCHEN INSTITUT DER UNIVERSITÄT BERLIN
(OPERATIVE ABTEILUNG)

KAUWERKZEUGE BEI RATTE UND MAUS

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER ZAHNÄRZTLICHEN DOKTORWÜRDE

AN DER

FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT ZU BERLIN

VORGELEGT VON

BOGDAN N. BRAÏKOFF

SLIWEN (BULGARIEN)

21. JANUAR 1927

VERLAGSBUCHHANDLUNG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN 1927

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität
Berlin.

Dekan: Prof. Dr. Arnd.

Referent: Prof. Dr. R. du Bois-Reymond.

Korreferent: Prof. Rubner.

Sonderabdruck aus:

Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde 1927, Heft 5

Meiner lieben Mutter
gewidmet

Die Aufgabe der vorliegenden Untersuchung ist, die Anatomie der Kiefer, der Kiefermuskeln und der Zähne der weißen Ratte und der weißen Maus möglichst eingehend zu vergleichen. Das Ergebnis soll dazu dienen, die Beziehungen zwischen Größe und Funktion der Beißwerkzeuge erkennbar zu machen.

Von verschiedenen Seiten ¹⁾ ist in neuerer Zeit unter der Bezeichnung „Ähnlichkeitsmechanik“ und „Ähnlichkeitsphysiologie“ die Beziehung zwischen Größe und Funktion bei Maschinen und Organismen zum Gegenstand einer besonderen Forschungsrichtung gemacht worden. In diesem Zusammenhang ist es wünschenswert festzustellen, wie weit die Übereinstimmung der anatomischen Verhältnisse bei ähnlichen Tierarten von verschiedener Größe geht.

Zur Untersuchung wurden Ratten und Mäuse gewählt, weil sie unter den geeigneten Arten von Tieren am bequemsten zu beschaffen sind. Da eine genaue Vergleichung des gesamten Körpers sehr langwierige Arbeit erfordern würde, wurde die Untersuchung auf die Kauwerkzeuge beschränkt.

Die Untersuchung erstreckt sich auf Kiefer, Kaumuskeln und Zähne.

Vergleichung der Knochen.

Die Schädel von Ratte und Maus scheinen bei bloßer Betrachtung ganz gleich gebaut zu sein. Fossa temporalis und orbitalis sind zu einer großen gemeinsamen Höhlung verschmolzen, die zwischen dem rundlichen Hirnschädel und dem schmalen Gesichtsschädel liegt. Der Oberkiefer ist nach vorn so verlängert, daß die Nagezähne, deren Alveolen das vordere Ende des Oberkiefers bilden und die Molarzähne, deren Alveolen im hinteren Teil des Oberkieferknochens gelegen sind, durch eine weite Lücke getrennt sind. Für das Auge ist zwischen der Schädelform von Mäusen und Ratten kein Unterschied zu bemerken. Auch der Unterkiefer ist bei Ratte und Maus fast vollkommen gleich gestaltet. Die folgende Beschreibung kann daher für die Unterkiefer beider Spezies zugleich gelten. Er besteht aus zwei bilateral-symmetrischen Teilen, die die Form von flachen, in annähernd sagittalen Ebenen stehenden, länglich dreieckigen Platten haben, die leicht nach vorn medial einander entgegen gekrümmt sind. Sie sind mit ihren Spitzen, die das vordere Ende bilden, miteinander durch Symphysis verbunden, die sich beim Auskochen des Schädels meistens löst, so daß der Unterkiefer in seine Halfteile zerfällt. Am vorderen Ende des Unterkiefers ist keine Andeutung einer Protuberantia mentalis, die bekanntlich ein ausschließliches Merkmal des menschlichen Unterkiefers bildet, da sie schon bei den Anthropoiden und ebenso bei den anderen Säugetieren fehlt.

¹⁾ M. Weber: Grundlagen der Ähnlichkeitsmechanik. Schrift der schiffbautechn. Gesellschaft. 1919. — H. v. Hoesslin: Über die Ursache der scheinbaren Abhängigkeit des Umsatzes von der Größe der Körperoberfläche. Arch. f. Anat. u. Physiologie 1888. S. 323. — A. Pütter: Studien über physiologische Ähnlichkeit. Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 168, S. 209. 1917; Bd. 172, S. 367. 1918; Bd. 180, S. 208. 1920.

Die Unterkiefer zeigen, wie die übrigen flachen Schädelknochen, eine äußere und innere Schicht von kompakter Knochensubstanz, die durch ein Maschenwerk von spongiöser Substanz verbunden sind.

Wie beim Menschen ist ein *Corpus maxillare* und ein *Ramus ascendens* zu unterscheiden. Das *Corpus* ist nach vorn durch den langgestreckten, nach oben gekrümmten *Processus alveolaris* der unteren Schneidezähne verlängert. Der Winkel zwischen *Corpus* und *Ramus ascendens* war bei einigen Tieren mehr, bei anderen weniger stumpf. Dies hängt vielleicht mit dem verschiedenen Lebensalter der betreffenden Tiere zusammen.

An der Außenseite, buccalwärts, ist eine starke Knochenspange zu sehen, die vielleicht der *Linea obliqua externa* beim Menschen entspricht. Diese Knochenleiste verbreitert in ihrem hinteren Abschnitt den *Processus alveolaris*, auf dem die drei Backenzähne stehen. Am vorderen Ende dieser Leiste liegt das kleine, kaum erkennbare *Foramen mentale*, die vordere Öffnung des *Canalis mandibularis*.

Zwischen der Alveole des Nagezahnes und der des ersten Backenzahnes ist eine weite Lücke. Der *Ramus ascendens* wird durch zwei *Incisurae* in drei *Processus* geteilt. Die eine *Incisur* entspricht der *Incisura mandibularis* s. *semilunaris* beim Menschen und teilt die obere Partie in zwei: *Processus temporalis* s. *coronoideus* (Ansatzstelle des *M. temporalis*) und *Processus condyloideus*. Die zweite *Incisur* liegt zwischen dem *Processus condyloideus* und dem Unterkieferwinkel. Nach caudalwärts vom Unterkieferwinkel erstreckt sich ein dritter unbenannter Fortsatz in Form eines flachen Vorsprunges mit verdecktem Rand. Die Verdickung zieht sich an der Außenseite der unteren Kante des *Corpus* hin und dient dem *M. masseter* zum Ansatz. Am Unterkieferwinkel ist an der Außenseite diese *Tuberositas masseterica*, an der Innenseite die *Tuberositas pterygoidea* zu bemerken.

Was die innere linguale Fläche betrifft, so sieht man auch hier eine Knochenleiste, *Linea obliqua interna*, und einen *Sulcus*, *Sulcus mylohyoideus*, in dem *Arteria* und *Vena mylohyoidea* verlaufen.

An der Innenseite des aufsteigenden Astes liegt das *Foramen mandibulare*, von vorn durch die *Lingula mandibularis* gedeckt, nach rückwärts geöffnet. In die Öffnung treten der *N. alveolaris inf.* und die gleichnamige Arterie, heraus kommen zwei Venen. Das *Foramen mandibulare* ist der proximale Eingang zum *Canalis mandibularis*, der auf der Außenseite mit dem *Foramen mentale* endet.

Der *Processus temporalis* s. *coronoideus* ist flach, mit scharfem Rand und spitz endend, dient dem *M. temporalis* als Ansatz. Der *Processus condyloideus* ist zu einem allerdings nur wenig ausgeprägten Gelenkkopf von längsovaler Form abgerundet, der zur Artikulation mit der *Fossa mandibularis* des Schläfenbeins dient. Unterhalb, am Halse des *Processus condyloideus*, ist an dessen vorderer medialer Fläche die *Fossa pterygoidea mandibulae*, die Insertionsstelle des *M. pterygoideus*, zu bemerken.

Der obere Rand des *Corpus* trägt den *Processus alveolaris* mit den Alveolen für jederseits drei Molarzähne.

Alle diese Merkmale finden sich bei Ratte und Maus in ganz gleicher Weise. Um zu erkennen, ob wirklich eine genaue geometrische Ähnlichkeit vorliegt, habe ich nun die Entfernungen zwischen einzelnen Punkten am Unterkiefer bei Ratten und Mäusen sorgfältig gemessen. Da es schwer ist, an so kleinen Knochen, wie die Unterkiefer von Mäusen, genaue Messungen zu machen, wurden sowohl von den Unterkiefern von Mäusen wie von denen von Ratten im Maßstab 2,5 : 1 photographische Aufnahmen hergestellt. Auch diese Aufnahmen waren einander so ähnlich, daß man bei der bloßen Betrachtung keinerlei Unterschied der Form erkennen konnte. Es war nicht tunlich, zur Messung solche Teile des Unterkiefers zu wählen, die für dessen Bau besondere Bedeutung haben, wie etwa Länge des *Ramus ascendens*, des *Corpus* oder des vorderen *Processus alveolaris*, sondern ich mußte solche Punkte wählen, die eine scharfe Bestimmung zuließen. Da ich aber im ganzen je 9 Strecken an jedem Unterkiefer maß, mußte wohl jede Ungleichheit im Bau bemerkbar werden. Gemessen

wurde mit einem Zirkel an den vergrößerten Abbildungen. Das gemessene Maß wurde dann auf Naturgröße umgerechnet.

Zahlenübersicht I.

I	II	III	IV	V
		Ratte	Maus	Verhältnis
1	Alveole des Nagezahnes bis Proc. condyloideus	60	28	2,14 : 1
2	Alveole des Nagezahnes bis Proc. coronoideus	47	21	2,24 : 1
3	Alveole des Nagezahnes bis Unterkieferwinkel	59	28	2,11 : 1
4	Entfernung des Proc. condyloideus von Unterkieferwinkel	18	0,9	2 : 1
5	Entfernung des Proc. coronoideus von Unterkieferwinkel	27	13,5	2 : 1
6	Entfernung des Proc. condyloideus von Proc. coronoideus	15	8	1,9 : 1
7	Länge der Zahnreihe (Backenzähne)	18	7	2,6 : 1
8	Breite der Kaufläche des 1. Molaren	0,75	0,35	2,1 : 1
9	Länge des Nagezahnes	12	6	2 : 1

In der vorstehenden Übersicht I enthält der erste Stab laufende Ordnungszahlen, der zweite die Angabe der gemessenen Strecken, der dritte und vierte die dazu gehörenden Maßzahlen für Ratte und Maus, der fünfte das Verhältnis der Maße von der Ratte zu denen von der Maus. Die Zahlen sind Durchschnittszahlen von mehreren Messungen. Man sieht, daß die Zahlen des fünften Stabes, die das Verhältnis der gefundenen Maße bei Ratten und Mäusen ausdrücken, für alle Strecken fast dieselben sind und nur sehr wenig über das Verhältnis 2 : 1 hinausgehen. Nur die Zahlen unter 7, 2 und die erste weichen von dem mittleren Verhältnis merklich ab. Letzteres mag mit der oben erwähnten Ungleichheit des Kieferwinkels zusammenhängen. Auch diese Abweichung ist so geringfügig, daß man als Gesamtergebnis der Messungen behaupten darf, bei Ratten und Mäusen bestehe in der Form der Unterkiefer geometrische Ähnlichkeit.

Untersuchung der Muskeln.

Die Muskeln, die den Unterkiefer bewegen, sind: M. temporalis, M. masseter und M. pterygoideus internus.

Der Musculus temporalis entspringt vom Planum temporale des Os temporale und frontale, und setzt sich am Processus coronoideus des Unterkiefers an.

Der M. masseter entspringt vom unteren Rande des Jochbogens und setzt sich an die Tuberositas masseterica an der Außenseite des Unterkieferwinkels.

Der M. pterygoideus internus entspringt von der Lamina pterygoidea interna und Fossa pterygoidea und setzt sich an der Innenseite des Unterkieferwinkels an die Tuberositas pterygoidea.

Um diese Muskeln genauer untersuchen zu können, wurden die Köpfe von je 6 Ratten und Mäusen zwei bis drei Stunden lang vorsichtig gekocht, bis sich die Muskeln von Ursprung und Ansatz in toto glatt ablösen ließen. Dann wurde jeder einzelne Muskel gewogen und in der Weise quer durchgeschnitten, daß möglichst alle Fasern vom Schnitt getroffen wurden, und dieser „physiologische Querschnitt“ ausgemessen.

Das Ergebnis dieser Bestimmungen ist in folgenden Übersichten II und III zusammengestellt.

Zahlenübersicht II.

Gewicht der Kaumuskeln bei Ratte				Gewicht der Kaumuskeln bei Maus		
Seite	Masseter g	Temporalis g	Pter. int. g	Masseter g	Temporalis g	Pter. int. g
Rechts	0,35	0,19	0,1	0,04	0,02	0,015
Links	0,32	0,19	0,1	0,04	0,02	0,015
Rechts	0,40	0,19	0,15	0,05	0,021	0,016
Links	0,39	0,19	0,15	0,05	0,02	0,016
Rechts	0,42	0,28	0,17	0,05	0,022	0,017
Links	0,42	0,28	0,17	0,06	0,021	0,017
Rechts	0,45	0,29	0,17	0,06	0,022	0,017
Links	0,43	0,28	0,16	0,06	0,022	0,017
Rechts	0,46	0,29	0,2	0,061	0,025	0,018
Links	0,44	0,29	0,2	0,062	0,026	0,018
Rechts	0,55	0,31	0,19	0,065	0,027	0,020
Links	0,55	0,30	0,19	0,065	0,027	0,019
Summe	5,18	3,08	1,95	0,663	0,273	0,205

Zahlenübersicht III.

Physiologische Querschnitte der Kaumuskeln bei						
Ratte				Maus		
	Masseter	Temporalis	Pter. int.	Masseter	Temporalis	Pter. int.
qmm	12,0	4,8	1,5	4,0	1,6	0,6
	12,6	5,6	1,8	4,4	1,8	0,7
	15,0	8,0	2,1	4,8	2,2	0,73
	16,2	8,4	2,4	4,9	2,3	0,79
	17,4	8,9	2,5	4,9	2,3	0,79
	24,0	14,4	3,6	5,4	2,4	0,85
	97,2	50,1	13,9	28,4	12,6	4,46

Bei diesen Zahlen darf natürlich nicht auf große Genauigkeit gerechnet werden. Was die Gewichte betrifft, ist zu berücksichtigen, daß bei der Präparation einzelne Fäserchen am Knochen hängen geblieben sind, was zwar für die größeren Muskeln der Ratte keinen wesentlichen Fehler bedeutet, bei den sehr kleinen Muskeln der Mäuse aber einen merklichen Verlust am Gewicht ausmacht. Noch beträchtlicher dürften die Fehler sein, die durch den unvermeidlichen Wasserverlust durch Austrocknen während der Präparation und der Wägung entstanden sein können. Um diese Fehler möglichst einzuschränken, wurden die Wägungen im Wiegegläschen vorgenommen. Auch diese Verluste müssen für die Muskeln der Mäuse verhältnismäßig größer sein als für die der Ratten, weil die kleineren Muskeln im Verhältnis zu ihrer Masse mehr Oberfläche haben.

Vergleicht man das Verhältnis der Gewichte des größten Muskels, des Masseter, bei Ratte und Maus, so ist der der Ratte fast 8mal so schwer wie der der Maus. Bei den kleineren Muskeln ist das Verhältnis 11 : 1 und 9 : 1. Da aber, wie oben erklärt ist, die Wägungen für die kleinen Muskeln der Mäuse wahrscheinlich zu kleine Gewichtszahlen ergeben haben, darf man wohl an-

nehmen, daß in Wirklichkeit das Verhältnis sämtlicher Muskelgewichte bei Ratten und Mäusen das Verhältnis 8 : 1 nicht wesentlich überschreitet.

Die Bestimmung der Muskelquerschnitte ist dem Wesen der Sache nach überhaupt mehr als eine Schätzung, wie als eine genaue Messung zu betrachten. Es ist anzunehmen, daß je kleiner die Muskeln sind, an denen man versucht, das Maß der Querschnittsfläche festzustellen, desto mehr die Neigung vorwiegen wird, etwas zu große Zahlen anzunehmen. Die Bedeutung dieser Zahlen soll weiter unten erörtert werden.

Vergleichung des Gebisses.

Das Gebiß der Ratte wie das der Maus besteht aus 16 Zähnen. Im Oberkiefer und Unterkiefer stehen jederseits ein Schneide- oder Nagezahn und, durch eine weite Lücke von diesen getrennt, 3 Molarzähne.

Im Gegensatz zu dem Befund am Unterkiefer und an den Kaumuskeln waren an den Zähnen schon makroskopisch Unterschiede zu erkennen, nämlich, daß die Höcker der Molarzähne bei den Ratten lang und spitz, bei den Mäusen kurz und flach waren. Bei der Messung des Unterkiefers hatte es sich auch schon gezeigt, daß die Länge der Reihe der drei unteren Molaren bei der Ratte verhältnismäßig größer war als bei der Maus. (Siehe Zahlenübers. I unter 7.)

Zahlenübersicht IV.

I	II	III	IV	V
		Ratte	Maus	Verhältnis
1	Länge der Zahnreihe (Molaren)	18	7	2,6 : 1
2	Breite der Kaufläche des 1. Molars	0,75	0,35	2,1 : 1

Außerdem fand ich Unterschiede in der Zahl der Wurzeln. Da dieser Unterschied in der mir zugänglichen Literatur nicht erwähnt ist, und überdies der Angabe (s. S. 198, Anm. 1) widerspricht, daß die Zahl der Wurzeln im allgemeinen der der Querhöcker auf der Krone entsprechen soll, habe ich diesen Umstand besonders sorgfältig geprüft. Es liegt nahe anzunehmen, daß die Zahl der Wurzeln überhaupt kein zuverlässiges Merkmal sei, und eben deshalb von den Zoologen bei der Beschreibung der Zähne übergangen werde. Ich habe aber an mehreren Tieren immer dieselben Zahlen für die Zahnwurzeln gefunden. Die Beobachtung wurde dadurch gesichert, daß auch die Alveolen für die gefundene Zahl von Wurzeln nachzuweisen waren.

Die oberen Molaren der Ratte haben immer fünf Wurzeln, die in folgender Ordnung in dem Alveolarfortsatz steckten: eine mediale, die am stärksten entwickelt war, zwei buccale, die die schwächsten waren, und zwei palatinale Wurzeln. Die unteren Molaren der Ratte haben vier Wurzeln: eine mediale und eine distale Wurzel und noch zwei schwächere, eine linguale und eine buccale. Für jede dieser Wurzeln fand sich im Kiefer eine entsprechende Alveolarhöhle.

Bei der Maus dagegen haben die oberen Molaren nur je 3 Wurzeln, 2 buccale und 1 palatinale, denen 3 Alveolarhöhlen entsprechen. Die unteren Molaren bei der Maus haben nur zwei Wurzeln, eine mediale und eine distale. Die mediale

ist immer dicker und auch etwas länger als die andere, ihr Ende am Foramen apicis ist stumpf. Dem entspricht auch die Alveolarhöhle mit zwei Vertiefungen.

Da die Zähnnchen der Maus sehr winzig sind, könnte man auf den Einwand kommen, daß die Zahl ihrer Wurzeln vielleicht doch der bei der Ratte entspräche, daß aber die schwächsten Wurzeln so dünn wären, daß sie beim Herausnehmen der Zähne abbrechen und daß auch das Alveolarloch kaum wahrnehmbar wäre, so daß Beobachtungsfehler entstehen könnten. Ich habe mich aber durch eingehendes Nachforschen unter der Lupe überzeugt, daß das nicht der Fall war. Auch die mikroskopische Betrachtung von Schliffpräparaten, von der gleich die Rede sein wird, schützte mich vor so groben Fehlern.

Die Höckerbildung auf den Zahnkronen wird in der zoologischen Systematik als Kennzeichen der verschiedenen Nagerarten benutzt, und ist daher recht genau untersucht. Die Beschreibung der Höcker bei Ratte und Maus lautet aber im zoologischen Lehrbuch¹⁾ genau gleich. Nach der oben erwähnten Angabe, daß die Zahl der Wurzeln der der Höcker entspräche, würde man also erwarten müssen, bei Ratten und Mäusen auch dieselbe Zahl von Zahnwurzeln zu finden.

Die Angabe des Lehrbuches bezieht sich aber auf wilde Ratten, *Mus decumanus* und *Mus rattus*, und graue Mäuse, *Mus musculus*, während meine Beobachtungen an weißen Ratten und Mäusen gemacht waren.

Dem freundlichen Entgegenkommen von Herrn Dr. Pohle vom Zoologischen Museum, dem ich hiermit meinen besten Dank aussprechen möchte, verdanke ich die Gelegenheit, an einer Anzahl Schädeln von Wanderratte, Waldmaus und Hausmaus die Beziehungen zwischen Zahnhöckern und Zahnwurzeln untersuchen zu können. Bei *Mus decumanus*, *silvaticus* und *musculus* habe ich nicht immer die Regel bestätigt gefunden, daß die Zahl der Wurzeln der Zahl der Kronenhöcker entspricht. Außerdem fand ich Unterschiede zwischen den verschiedenen Arten, namentlich in der Stellung der Höcker untereinander. Es kann also nicht wundernehmen, daß bei den weißen Ratten und Mäusen zwischen den Zahlen von Höckern und Wurzeln keine Übereinstimmung besteht.

Wanderratte und weiße Ratte unterschieden sich darin, daß die weiße Ratte an den drei oberen Molaren 5, 4, 3 Wurzeln hat, an den drei unteren 4, 3, 3, während die Wanderratte im Oberkiefer 5, 4, 4, im Unterkiefer 4, 3, 3 Wurzeln hat. Hausmaus und weiße Maus stimmen in den Wurzelzahlen nahezu überein: Hausmaus im Oberkiefer 3, 4, 3, im Unterkiefer 2, 2, 3. Die Zahlen

Zahlenübersicht V.

	Zahl der Wurzeln						Zahl der Höcker					
	Oberkiefer			Unterkiefer			Oberkiefer			Unterkiefer		
Molaren	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Wanderratte	5	4	4	4	3	3	5	4 ²⁾	3	3 ³⁾	3	3
Weißer Ratte	5	4	(3)	4	3	3	5	4	3	(4)	(4)	3
Hausmaus	3	3	3	2	2	2	4	3	3	5	4	3
Weißer Maus	3	(4)	3	2	2	(3)	(3)	3	3	5	4	3
Waldmaus	(4)	(4)	3	2	2	2	5	4	3	5	2	2

¹⁾ J. H. Blasius, Fauna der Wirbeltiere Deutschlands. Bd. 1. Braunschweig 1857. S. 300.

²⁾ Buccomediale und palatodistale Höcker sind durch eine Leiste verbunden.

³⁾ Der mittlere Höcker ist in zwei kleinere geteilt.

der Höcker entsprechen dem nicht vollständig, denn ich finde für die Wander- ratte 5, 4, 3 im Oberkiefer, 3, 3, 3 im Unterkiefer, für die weiße Ratte 5, 4, 3 und 4, 4, 3. Der Übersichtlichkeit wegen seien die Zahlen hier zusammen- gestellt.

Wie man sieht, sind die Zahlen für weiße Ratte und weiße Maus keineswegs gleich. Es liegt also hier eine deutliche Abweichung von der sonst so großen Ähnlichkeit im Körperbau vor.

Die Schneidezähne oder besser Nagezähne sind sowohl bei den Ratten wie bei den Mäusen je zwei in Ober- und Unterkiefer. Sie sind so lang, daß ihre Alveolen im Unterkiefer unter den Alveolen der Molaren fort bis fast zum Unter- kieferwinkel hinziehen. Jeder der Zähne hat von der Wurzel bis zur Spitze annähernd denselben Querschnitt, oval mit sagittalem größerem Durchmesser. Die Spitze ist bei den oberen und unteren Zähnen lingual von den Antagonisten abgenutzt, so daß meißelförmige Schneiden entstehen. Die Abnutzungsflächen¹⁾ sind glatt und nahezu eben. Obgleich es so aussieht, als seien sie durch gegen- seitiges Abschleifen entstanden, ist dies doch nach ihrer Stellung nicht möglich. Vielmehr müssen die Unterkieferzähne, die in der Ruhestellung hinter den Vorderzähnen stehen, deren linguale Fläche bestreichen und abschaben und umgekehrt die Schneiden der Vorderzähne bei vorgeschobenem Unterkiefer die lingualen Flächen der Unterkieferzähne.

Jeder Zahn ist seiner ganzen Länge nach kreisförmig gebogen und schiebt sich infolge des Wachstums aus der ebenso gekrümmten Alveole in dem Maße, in dem er abgenutzt wird, hervor.

Die Maße der Zähne waren:

Zahlenübersicht VI.

Durchmesser der Nagezähne	Ratte	Maus
Sagittal	2,1 mm	0,9 mm
Transversal	1,3 "	0,5 "
Schneide bis Wurzelende, geradlinig gemessen.....	20,0 "	10,0 "
Schneide bis Wurzelende, längs der Krümmung gemessen..	26,0 "	12,0 "

Die Zähne der Ratte sind also etwas dicker und etwas krummer als die der Maus, aber der Unterschied ist nur gering. Im ganzen sind die Verhältnisse dieselben und die Maße der Ratte betragen das Doppelte von denen der Maus.

Um nun auch den inneren Bau der Zähne miteinander zu vergleichen, fertigte ich Quer- und Längsschliffe der Molaren von Mäusen und Ratten an. Dies war teils wegen der Kleinheit, teils wegen der Härte und Sprödigkeit der Zähne sehr mühsam. Zunächst wurden die Zähne grob in Scheiben zer- schnitten, und diese Scheiben mit der Fingerspritze auf Arkansasschleifsteinen von verschiedener Feinheit so lange abgeschliffen bis sie hinreichend durch- sichtig waren. Die größte Breite jedes Querschliffes, die das Maß des trans- versalen Durchmessers des ganzen Zahnes an seiner dicksten Stelle gibt, schien geeignet, zur Beurteilung der Gesamtgröße der Zähne zu dienen. Messungen

¹⁾ Vgl. C. Abel: Grundzüge der Paläobiologie der Wirbeltiere. Stuttgart 1912. S. 306.

mit dem Okularmikrometer ergaben bei den Rattenzähnen nahezu doppelt so große Werte wie bei denen der Maus.

Hier und da war der Schmelz auf Längs- oder Querschliffen gesprungen und zeigte scharfe Kanten, woraus die große Härte des Schmelzes zu erkennen ist. Herr Professor Dieck gibt in seiner Vorlesung an, daß Ratten und Mäuse Eisendrähte durchnagen können.

Die Größe der Pulpahöhle ist bei ihrer unregelmäßigen Form schwer anzugeben. Messungen zeigten, daß sie ebenfalls ungefähr im Verhältnis 2 : 1 steht. Dasselbe Verhältnis gilt demnach auch für die Wanddicken, die bei beiden Tierarten etwa halb so groß gefunden wurde wie die Weite der Höhle. Am oberen Ende ist die Höhlung entsprechend der höckerigen Gestalt der Krone ausgebuchtet.

Der Schmelz bedeckt die ganze Krone und reicht ein kurzes Stück unter das Zahnfleisch. Er bildet eine Kappe über der Krone, die an den Spitzen der Höcker am dicksten ist und zum Zahnhals hinab immer dünner wird. An ihrem unteren Rande wird ein kleines Stück von ihr vom Zement überdeckt. Ein bestimmtes Maß für die Dicke der Schmelzschicht kann demnach nicht wohl angegeben werden. Nach Messungen der Schichtdicke an vergleichbaren Stellen von je 6 Schliffpräparaten schien es aber, als ob die Schmelzschicht bei den Mäusen im Verhältnis zur Größe der Zähne etwas dicker wäre als bei den Ratten. Bei den Ratten wurde durchschnittlich 0,1 mm, bei den Mäusen 0,06 mm gemessen.

Das Dentin ist nach seinem histologischen Bau als Vasodentin zu bezeichnen. Die Dentinkanälchen haben im inneren Teil der Dentinschicht etwa 1,5 Mikra Durchmesser, nach außen zu werden sie enger, verästeln sich und anastomosieren miteinander. Ihr Verlauf ist an manchen Stellen wellenartig gekrümmt, an einzelnen sogar spiralig gewunden.

Der Zement der Zähne zeigte keine Besonderheit und es war daran kein Unterschied zwischen Ratten und Mäusen zu bemerken.

Erörterung der Ergebnisse.

Die im vorstehenden beschriebenen Messungen sind ausgeführt worden, um festzustellen, ob es einzelne Organe oder ganze Organismen gibt, die bei erheblich verschiedener Größe doch ganz gleiche Verhältnisse ihrer Teile aufweisen, also einander geometrisch ähnlich sind.

Es soll nun erörtert werden, ob die vorliegenden Ergebnisse eine Antwort auf diese Frage zulassen. Dazu muß zuerst der Unterschied in der Größe der Ratten und Mäuse bestimmt werden.

Nimmt man an, daß die Ratten den Mäusen vollkommen geometrisch ähnlich seien, so kann man den Satz anwenden: Bei zwei geometrisch ähnlichen Körpern verhalten sich entsprechende Flächenmaße wie die zweiten, entsprechende Raummaße wie die dritten Potenzen des Längenmaßes. Da die Körper von Ratte und Maus aus gleichen Stoffen aufgebaut sind, ist bei vollkommener geometrischer Ähnlichkeit das Verhältnis ihrer Raummaße durch das Verhältnis ihrer Gewichte gegeben. Die Körpergewichte der je 6 untersuchten Ratten und Mäuse waren:

Zahlenübersicht VII.

	Ratten	Mäuse
1	120 g	16 g
2	146 „	18 „
3	150 „	19 „
4	170 „	21 „
5	185 „	21 „
6	201 „	22 „
Sa.	972 g	117 g

Diese Zahlen würden sich bei vollkommener geometrischer Ähnlichkeit verhalten wie die dritten Potenzen der Längenmaße. Man könnte also das Verhältnis der Längenmaße aus ihnen berechnen, indem man die dritte Wurzel zieht. Das durchschnittliche Gewicht der Ratten ist 162 g, das der Mäuse 19,5 g: $\sqrt[3]{162} = 5,451$; $\sqrt[3]{19,5} = 2,66$.

Die untersuchten Ratten wären also durchschnittlich gerade zweimal so lang wie die untersuchten Mäuse. Bei vollkommener geometrischer Ähnlichkeit müßten sich demnach alle Längenmaße an den Ratten zu den entsprechenden an den Mäusen wie 2 : 1 verhalten.

Die Längenmaße, die am Unterkiefer gemessen worden sind, kommen dem sehr nahe, da ihr Verhältnis, wie die Zahlenübersicht I lehrt, durchschnittlich zu 2,06 : 1 gefunden wird. Eine so vollkommene Übereinstimmung war kaum zu erwarten. Sie darf als ein Beweis angesehen werden, daß Größe und Gestalt des Unterkiefers bei Ratten und Mäusen den Forderungen geometrischer Ähnlichkeit entspricht.

Ungefähr dasselbe ergibt sich aus der Untersuchung der Kaumuskeln. Die Gewichte des Masseter, Temporalis und Pterygoideus bei den 6 untersuchten Ratten zusammengenommen betrugen 10,21 g, die entsprechende Gewichtssumme bei den Mäusen war 1,14 g. Da die Summe der Körpergewichte der 6 Ratten 972 g, bei den Mäusen 117 g betrug, machte die Kaumuskulatur bei den Ratten den 95., bei den Mäusen den 98. Teil des Körpergewichtes aus. Da, wie oben angegeben, aus mehreren Gründen, die für die Muskeln der Mäuse gefundenen Gewichtszahlen als etwas zu klein anzusehen sind, darf man sagen, daß auch in der Größe der Kaumuskulatur zwischen Ratten und Mäusen geometrische Ähnlichkeit besteht. Da die Ratten fast genau zweimal so groß waren wie die Mäuse, müßten bei geometrischer Ähnlichkeit die Gewichte entsprechender Körperteile sich verhalten wie 8 : 1. Dies trifft für die einzelnen Kaumuskeln nicht genau zu, sondern aus den in der Übersicht III angegebenen Zahlen ergibt sich für die Masseteren das Verhältnis 7,81 : 1, für die Temporales 11,40 : 1, für die Pterygoidei 9,51 : 1. Für die Gesamtmasse der Muskelgewichte 10,21 g und 1,14 g ist das Verhältnis 9,0 : 1. Man wird in Anbetracht der unvermeidlichen Fehler auch dies als eine gute Übereinstimmung bezeichnen dürfen. Die Querschnitte der Rattenmuskeln müßten sich bei geometrischer Ähnlichkeit zu denen der Mäuse verhalten wie 4 : 1, aus den angegebenen Zahlen ergibt sich aber im Durchschnitt das Verhältnis 3,4 : 1. Das würde bedeuten, daß die Muskelquerschnitte der Ratten im Vergleich zu denen der Mäuse nicht einmal die Größe erreichten, die ihnen bei geometrischer Ähnlichkeit zukäme. Bei der

großen Unsicherheit der Messung der Muskelquerschnitte kann man sich auf dieses Ergebnis nicht verlassen. Dagegen darf man sagen, daß angesichts dieses Ergebnisses die entgegengesetzte Annahme, daß nämlich die Muskeln der Ratte dicker seien, als sie bei geometrischer Ähnlichkeit mit der Maus sein würden, unhaltbar wird.

Im Gegensatz zu den Messungen am Unterkiefer und an den Muskeln haben sich bei der Untersuchung der Zähne morphologische Unterschiede gefunden. Bei Zähnen mit verschiedenen Wurzelzahlen kann selbstverständlich von geometrischer Ähnlichkeit keine Rede sein. An dieser Stelle soll nur die Tatsache hervorgehoben werden, daß die Zähne der Ratten denen der Mäuse nicht geometrisch ähnlich sind, ohne eine Erklärung dafür zu suchen.

Ferner ist zu bemerken, daß im Gegensatz zu den anderen Maßen am Unterkiefer die Länge der Zahnreihe bei den Ratten sich zu der bei den Mäusen wie 2,6 : 1 verhält. Die Breiten der Kauflächen des ersten Molarzahnes verhalten sich wie 2,1 : 1. Das bedeutet, daß die Kaufläche der Ratte unverhältnismäßig länger, also im ganzen größer ist als die der Maus. Bei dem gefundenen Größenverhältnis zwischen Maus und Ratte von 2,02 : 1 würden bei geometrischer Ähnlichkeit die Kauflächen sich etwa wie 4 : 1 verhalten. Nach den gemessenen Zahlen für Breite und Länge ergibt sich aber das Verhältnis 5,46 : 1. Die Kaufläche ist also bei den Ratten im Vergleich zur Körpergröße größer als bei den Mäusen. Der Druck, den die Kraft der Kaumuskeln auf der gesamten Kaufläche hervorrufen kann, würde demnach bei den Ratten kleiner sein als bei den Mäusen. Der Unterschied ist zwar so gering, daß er sehr wohl auf Fehler der Messungen zurückgeführt werden kann, aber er macht die entgegengesetzte Annahme, daß nämlich der Kaudruck bei den Ratten größer wäre als bei den Mäusen, unhaltbar.

Schlußbetrachtung.

Als Hauptergebnis der vorstehenden Untersuchung darf angenommen werden, daß der Kieferapparat der Ratte ein im Maßstab 2 : 1 vergrößertes Abbild des Kieferapparates der Maus darstellt. Was folgt hieraus für die physiologische Funktion, die Beiß- oder Kautätigkeit?

Nimmt man an, daß die Muskeln der beiden Tierarten auf gleichem Querschnitt gleiche Kraft entfalten, so hat die Kaumuskulatur der Ratte das Vierfache an Kraft gegenüber der der Maus. Diese Kraft arbeitet an dem doppelt so großen Unterkiefer mit doppelt so großem Hebelarm, aber auch gegen einen doppelt so großen Hebelarm der Last. Das Hebelverhältnis ist bei beiden das gleiche: es ist kein Unterschied, weder zugunsten der Ratte, noch der Maus. Die Kraft, mit der bei der Ratte die Zähne gegeneinander gedrückt werden, ist 4mal so groß wie bei der Maus. Die Oberfläche der Zahnreihe ist aber ebenfalls mindestens 4mal so groß wie bei der Maus. Folglich ist der Flächendruck zwischen den Zähnen bei der Ratte höchstens ebenso groß wie bei der Maus. Unter dem gleichen Flächendruck dringt eine größere Fläche in festen Stoff weniger weit ein als eine kleinere. Die Lebensbedingungen stellen an die Ratte ebenso hohe Anforderungen wie an die Maus, wenn es etwa gilt, einen Hohlraum auszunagen, der den ganzen Körper einläßt. In dieser Beziehung verglichen, ist die Ratte weniger leistungsfähig als die Maus.

Da sich dieser Satz aus der geometrischen Ähnlichkeit bei verschiedener Größe notwendig ergibt, gilt er nicht nur für Ratte und Maus, sondern für beliebige Tierarten, die einander geometrisch ähnlich sind.

Zusammenfassung der Beobachtungsergebnisse.

1. Unterkiefer und Kaumuskeln bei Ratten und Mäusen sind einander vollkommen geometrisch ähnlich.
 2. Die Zähne von weißen Ratten und Mäusen sind an Zahl der Wurzel und Höcker von einander verschieden.
 3. Die Wirkung der Kaumuskeln auf die Kaufläche bei der Ratte ist höchstens ebensogroß wie bei der Maus.
-

Dem Herrn Prof. Dr. René du Bois-Reymond, Professor an dem Physiologischen Institut der Universität zu Berlin, gestatte ich mir an dieser Stelle meinen aufrichtigsten Dank für seine Anregung, Rat, gütige Unterstützung und Annahme der Arbeit auszusprechen.

Lebenslauf.

Als Sohn des Doktors der Chemie Nikolaus Braïkoff und seiner Ehefrau Jiwka, geb. Georgewa, wurde ich Bogdan N. Braïkoff am 19. Februar 1902 zu Sliwen (Bulgarien) geboren.

Ich besuchte das Realgymnasium für Knaben in Stara-Zagora, welches ich 1922 mit dem Zeugnis der Reife verließ. An der Friedrich-Wilhelm-Universität zu Berlin studierte ich darauf acht Semester Zahnheilkunde und bestand am 17. Dezember 1926 das Staatsexamen.

Eine Ergänzungsprüfung über Latein habe ich im Jahre 1923 im klassischen Gymnasium für Knaben zu Sofia abgelegt. Ich bin zur Zeit noch ledig und habe bisher nicht am Heeresdienst teilgenommen.